

# 過去の GPS 衛星情報を利用した高精度位置推定 — 郊外路と都心部における検証 —

小島 祥子<sup>†‡</sup> 鈴木 徳祥<sup>†</sup> 寺本 英二<sup>†</sup> 村瀬 洋<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>(株)豊田中央研究所 〒480-1192 愛知県愛知郡長久手町

<sup>‡</sup>名古屋大学大学院情報科学研究科 〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町

E-mail: <sup>†</sup> {yoshiko-k, noriszk, teramoto}@mosk.tytlabs.co.jp, <sup>‡</sup> {murase}@is.nagoya-u.ac.jp

**あらまし** 高精度地図は制御や警報などの運転支援システムに有効であり、1mの精度が必要と考えられている。現在の高精度地図生成は予め絶対位置精度が高い路面画像情報を利用するため、高価な高精度測位システムを搭載した専用の車両や航空写真測量が必要であった。そのため、生成コストが高くなり高精度地図の普及は進んでいない。我々は今までに、一般車両によって取得された汎用GPSと車載カメラ情報をプローブシステムを用いて収集し、別時刻の衛星情報を集めて擬似的に衛星数を増加させ、絶対座標の高精度化を図る手法を提案している。GPS衛星の受信状況が異なる郊外路と都心部の環境において提案手法を適用した結果、郊外路では10回の走行によって取得したGPS衛星情報を用いることによって、1m精度の実現の見込みを得た。

**キーワード** 高精度地図生成, 絶対位置推定, GPS衛星情報, 擬似的増加

## Accurate Positioning using Virtually Increased GPS Satellites taken from Past Driving — Evaluation in suburban and urban areas —

Yoshiko KOJIMA<sup>†‡</sup> Noriyoshi SUZUKI<sup>†</sup> Eiji TERAMOTO<sup>†</sup> and Hiroshi MURASE<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> Toyota Central R&D Labs., Inc. Nagakute-cho, Aichi-gun, Aichi, 480-1192 Japan

<sup>‡</sup> Nagoya University Graduate School of Information Science Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi, 464-8601 Japan

E-mail: <sup>†</sup> {yoshiko-k, noriszk, teramoto}@mosk.tytlabs.co.jp, <sup>‡</sup> {murase}@is.nagoya-u.ac.jp

**Abstract** High accuracy maps are effective in driver assistance systems such as a warning system, and 1m accuracy is required in these high accuracy maps. The highly accurate positioning system is required for the current high accuracy map generation because the generation method uses high accuracy road area information whose absolute positional accuracy is high. Then the high accuracy map has not been become widely used due to the cost. We had proposed a new automatically accurate map generation method by using a standard GPS and an in-vehicle camera. The method can estimate accurate global position by totally optimizing GPS satellites information collected by probe systems. This accurate positioning method has been applied to suburban and urban area. The estimation accuracy has been evaluated in this report. Virtually increased GPS satellites taken from 10 times past driving have promising to realize 1m accuracy positioning.

**Keyword** High accuracy map generation, Absolute positioning, GPS satellite information, Virtual increasing

### 1. はじめに

一時停止線手前で警報や制御をする一時停止支援など、場所に応じた運転支援システムの実現が期待されている。これらのシステムには一時停止線などの制御対象と自車の相対位置関係を精度良く推定する機能が必要である。制御対象との相対位置関係を直接計測する方法もあるが、50m先の停止線位置を直接計測することは容易ではない。そのため、地図上に停止線などの制御対象を登録し、地図上の自車位置を推定することで制御対象との位置関係を推定する方法が現実的

である。これらの機能を実現するために必要な情報が1mの精度で記載された高精度な運転支援用地図があれば非常に有用である。しかしながら、このような高精度地図は十分に普及していない。

近年、多くの車両に搭載されているカーナビゲーションシステム(以下、カーナビ)の地図は日本全国の道路をカバーしている。しかし、主に経路案内用にノードとリンクで表現され、その位置精度は高くない。一方、車線数や一時停止線位置などが保存された運転支援用の高精度地図も一部の道路では整備されている。

しかしながら、運転支援用の高精度地図のカバー率は1%に満たない。高精度地図を生成する一般的な方法は、高精度な絶対位置が付随した路面画像を専用の計測車両[1]や航空写真測量によって生成し、生成された路面画像から規制情報を抽出するものである。そのため生成コストが高く、普及が進まない原因になっている。

そこで、我々は安価な構成で運転支援に必要な精度を有する高精度地図生成手法の基本的なコンセプトを提案してきた[2]。提案手法は汎用車載カメラを用いて周辺状況を取得し、汎用GPSで取得されるデータと合わせて高精度な地図生成を実現するものであり、複数の車両が取得したデータをプローブシステムで収集し、全体で高精度化を図るものである。特に絶対位置の高精度化については、過去のGPS衛星情報を合わせて仮想的に衛星数を増加させることで高精度化を可能にする手法を提案している[3]。

本報では、特に絶対位置の高精度化手法について実データを用いて検証を行い、GPS受信環境が異なる郊外路と都心部に適用した結果を報告する。第2章で提案手法の概要と関連研究を示し、3章で提案する高精度位置推定の精度検証を行う。第4章で検証結果について考察し、第5章で本報をまとめる。

## 2. 提案手法と関連研究

### 2.1. 高精度地図生成の概要

現行の高精度地図生成手法では高精度な路面画像を取得し、そこからデータを抽出する方法が主にとられている。高精度な路面画像の生成には専用の計測車両や航空写真測量などが必要とされるため、コストがかかる。そこで我々は一般車両に搭載可能な汎用GPSと車載カメラを利用し、自車両あるいは他車両の走行データを共有・蓄積することで実現する手法を提案してきた。提案手法の全体イメージを図1に示す。

汎用GPSを用いて高精度な路面画像を生成する場合、一度の走行データから絶対位置を高精度に推定することは困難である。そこで、以下の2段階で高精度化を図っている。

**<各車両>** 軌跡の精度が高いことを利用し、相対的に精度の高い狭いエリアの路面画像（以下、ローカルマップ）を各車両で生成。マップ原点の精度は汎用GPSから得られる精度とする。

**<センタ>** 生成されたローカルマップとマップ原点のGPS情報をセンタ側で集める。ローカルマップの張り合わせで広域化を実現し、複数のローカルマップ原点のGPS情報を利用し、仮想的に衛星数を増加させ絶対位置を高精度化。広域な絶対位置高精度が高い路面画像（グローバルマップ）を生成する。

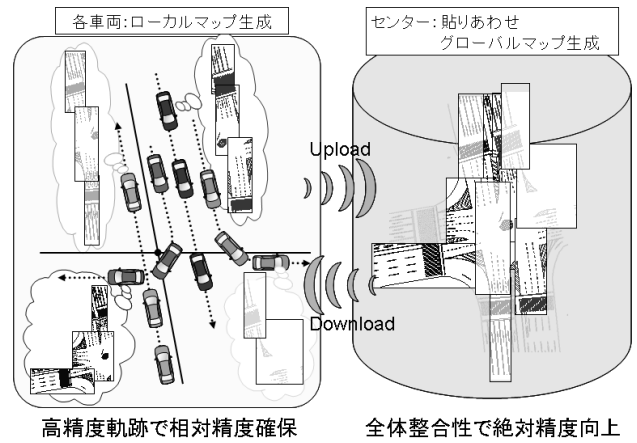


図1:一般車両による高精度地図生成全体構成イメージ

自車の運動はGPSドップラーとINSを用いることで精度良く推定できるため、相対的な位置変化（走行軌跡）は良好に推定可能である[4]。提案手法は走行軌跡精度が良好であることを利用し、軌跡に沿って車載カメラ画像を路面に投影していくことで、100m程度の範囲においてローカルに高精度な路面画像の推定を可能にしている[2]。各車両は相対的な位置精度の高いローカルマップを生成し、生成されたローカルマップはセンタ側に集められる。

集められた複数のローカルマップのマップ原点にはGPS情報が保存されている。各ローカルマップの原点座標の精度は高くないため、広範囲で一定の精度を確保するためには、共通の座標系である絶対位置精度の向上が必要である。センタ側では、集められた複数のローカルマップの広域化と高精度化を行い、高精度路面画像が生成される。本報では複数マップに保存されたGPS情報を用い、マップ原点の絶対位置精度の高精度化の可否にフォーカスする。

### 2.2. 過去のGPS衛星情報を用いた高精度測位

汎用GPSを用いて高精度な測位を実現することは容易ではなく、郊外の良好な受信環境においても数mの誤差が生じ、都心部では測位できない場合や数十mの誤差が頻発する[3]。RTK-GPS[5]など高精度測位手法もあるが、都心部では高精度測位ができない場合が多く、受信機も高価で現時点では一般車両への展開は現実的ではない。

汎用GPSの過去情報を利用する手法として、車載カメラやレーザレーダで取得した周辺情報とその地点でのGPS測位結果を蓄積し、同一地点と判断された複数回分の走行地点のGPS測位結果を平均化することで高精度化する手法が提案されている[6]。これらの手法は測位結果を利用するため、郊外路では比較的良好な

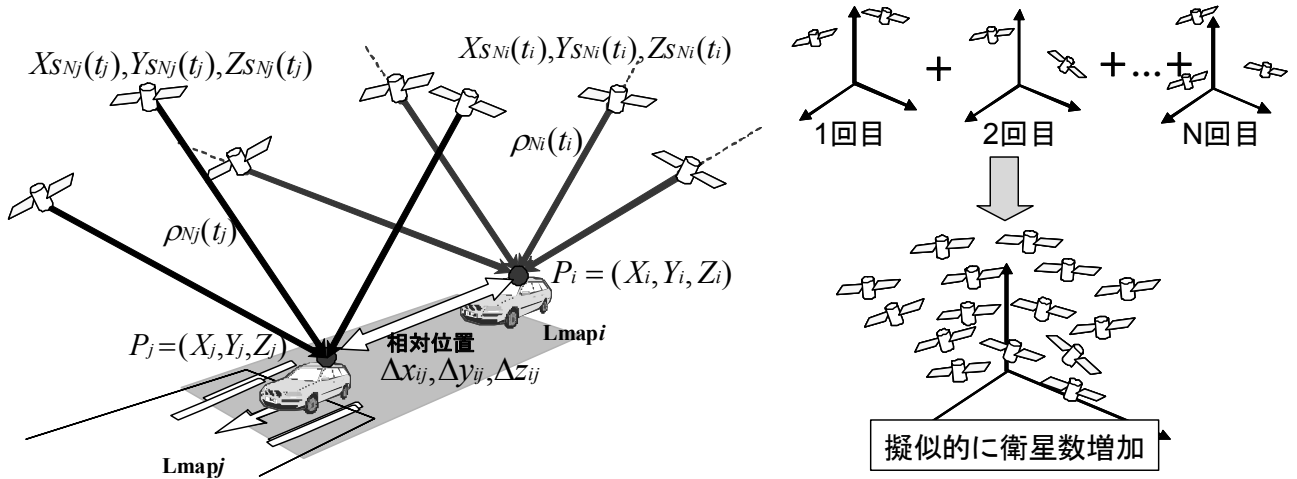


図 2:複数回の GPS 衛星情報を用いた高精度測位の概念

結果が得られるが、都心部などでは建築物の配置によって測位できない箇所の偏りが生じたり、大きく誤差が生じる箇所があり、平均化の結果にも誤差が生じやすい。そこで、本研究では、汎用 GPS の測位結果ではなく、汎用 GPS で取得した受信データ（時刻、各衛星からの擬似距離など）を用いて絶対位置の高精度化を提案している[3]。具体的なイメージを図 2 に示す。

ローカルマップ  $Lmap_i$  と  $Lmap_j$  が生成され、それぞれの原点  $O_i=(X_{O_i}, Y_{O_i}, Z_{O_i})$  と  $O_j=(X_{O_j}, Y_{O_j}, Z_{O_j})$  ではその時に受信された各 GPS 衛星からの受信情報が保存されている。ローカルマップ  $Lmap_i$  と  $Lmap_j$  との位置関係は生成された路面情報を手がかりに推定が可能である。水平面内の相対位置を地球中心座標系に変換した相対位置  $(\Delta x_{ij}, \Delta y_{ij}, \Delta z_{ij})$  とすると  $Lmap_j$  の原点は  $(X_{O_j}, Y_{O_j}, Z_{O_j})=(X_{O_i}+\Delta x_{ij}, Y_{O_i}+\Delta y_{ij}, Z_{O_i}+\Delta z_{ij})$  で示される。各マップ原点に保存された GPS 衛星の情報を  $I_i:(t_i, \rho_{N_i}, SN_{N_i})$ ,  $I_j:(t_j, \rho_{N_j}, SN_{N_j})$  とする。  $t_i$  は受信時刻であり、  $N_i$  個の衛星から信号が受信できたとすると  $\rho_{N_i}$  と  $SN_{N_i}$  は各衛星との擬似距離と信号強度を示す。従来手法では情報  $I_i$  を用いた測位結果  $P_i=(X_i, Y_i, Z_i)$  と情報  $I_j$  を用いた測位結果  $P_j=(X_j, Y_j, Z_j)$  を相対位置  $(\Delta x_{ij}, \Delta y_{ij}, \Delta z_{ij})$  を介して平均を算出した位置となる。一方、提案手法は GPS 衛星の情報  $I_i$  と  $I_j$  をあわせて用い、合計  $N_i+N_j$  個の衛星を用いて測位を行うことが大きな特徴である。具体的な演算式をそれぞれ示す。

#### 【従来手法】

$$\begin{cases} \rho_1(t_i) = \sqrt{(X_{S1}(t_i) - X_i)^2 + (Y_{S1}(t_i) - Y_i)^2 + (Z_{S1}(t_i) - Z_i)^2} + Cb_i \\ \vdots \\ \rho_{N_i}(t_i) = \sqrt{(X_{SN_i}(t_i) - X_i)^2 + (Y_{SN_i}(t_i) - Y_i)^2 + (Z_{SN_i}(t_i) - Z_i)^2} + Cb_i \end{cases}$$

$P_j=(X_j, Y_j, Z_j)$  も同様に上記の最適解を求めることで推定する。

$$\begin{cases} X_{O_i} = (X_i + X_j - \Delta x_{ij}) / 2 \\ Y_{O_i} = (Y_i + Y_j - \Delta y_{ij}) / 2 \\ Z_{O_i} = (Z_i + Z_j - \Delta z_{ij}) / 2 \end{cases}$$

#### 【提案手法】

$$\begin{cases} \rho_1(t_i) = \sqrt{(X_{S1}(t_i) - X_i)^2 + (Y_{S1}(t_i) - Y_i)^2 + (Z_{S1}(t_i) - Z_i)^2} + Cb_i \\ \vdots \\ \rho_{N_i}(t_i) = \sqrt{(X_{SN_i}(t_i) - X_i)^2 + (Y_{SN_i}(t_i) - Y_i)^2 + (Z_{SN_i}(t_i) - Z_i)^2} + Cb_i \\ \rho_1(t_j) = \sqrt{(X_{S1}(t_j) - X_i - \Delta x_{ij})^2 + (Y_{S1}(t_j) - Y_j - \Delta y_{ij})^2 + (Z_{S1}(t_j) - Z_i - \Delta z_{ij})^2} + Cb_j \\ \vdots \\ \rho_{N_j}(t_j) = \sqrt{(X_{SN_j}(t_j) - X_i - \Delta x_{ij})^2 + (Y_{SN_j}(t_j) - Y_j - \Delta y_{ij})^2 + (Z_{SN_j}(t_j) - Z_i - \Delta z_{ij})^2} + Cb_j \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_{O_i} = X_i \\ Y_{O_i} = Y_i \\ Z_{O_i} = Z_i \end{cases}$$

式中の  $X_{S_n}, Y_{S_n}, Z_{S_n}$  は GPS 衛星  $n$  の地球中心座標系における位置を示し、衛星位置は時間の関数として決定できる。  $Cb_i$  は時刻  $t_i$  における受信機の時計誤差に由来する距離誤差（以下、ロックバイアス）であり、可変であるため推定が必要である。従来手法では  $(X_i, Y_i, Z_i, Cb_i)$  の 4 つが未知数となるため、各マップ原点において受信可能な衛星が 4 個以上必要になる。平均化による高精度化は期待できるが、都市部などでは各マップの測位結果が得られない場合や誤差が大きくなる場合があり、平均化の効果が薄くなる可能性がある。

提案手法では、各マップ間の相対位置が既知であるため、  $Lmap_i$  と  $Lmap_j$  の 2 つの原点での衛星情報をあ

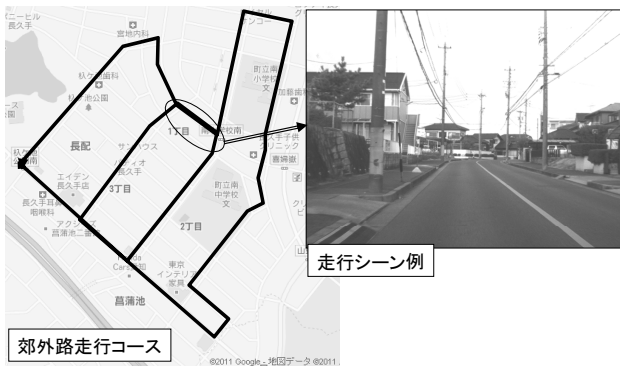


図 3: 郊外路計測コース

わせて利用することができる。それぞれの相対位置関係は既知であるため、2箇所のGPS衛星情報を用いる場合でも、位置の未知数は増加しない。クロックバイアスのみ未知数が増加し、 $(X_i, Y_i, Z_i, Cb_i, Cb_j)$ の5つが未知数となる。提案手法は仮想的に衛星数を増加させることが可能であり、長時間の静止測量と同等の効果が期待できるため、測位精度が向上する可能性がある。都心部においても、衛星配置の仮想的なDOP(Dilution Of Precision)が改善するため、測位精度が高くなる可能性がある。また、擬似距離誤差が大きい衛星の排除が容易になる効果が期待できる。

本報告では、特に相対位置が推定できたと仮定し、複数時刻でのGPS衛星情報を用いた場合の測位精度の向上について実データを用いて検証する。

### 3. 実環境データを用いた実験

#### 3.1. 実験条件

計測時刻が異なる複数のGPS衛星情報を用いた高精度化の実現可能性について実データを用いて実験する。GPSデータ取得用にGPS受信機(Novatel社製 OEMV[7], 20Hz)、レファレンス位置取得用に高精度測位システム(Applanix社製 POSLV610[8], 100Hz)、周辺画像取得用にカメラ(PointGreyResearch社, Flea2 [9] VGA FOV:36° 30Hz)を車両に搭載し、郊外路と都心部を複数回走行しデータを収集した。

郊外路の計測コースを図3に示し、都心部の計測コースを図4に示す。郊外路は低層の住宅が立ち並ぶ道路を中心に走行距離を10回走行してデータを収集し、都心部は名古屋駅前の高層ビル通りを20回走行して収集した。計測データの一覧を表1に示す。

#### 3.2. 実験結果

##### 3.2.1. 測位結果

郊外路と都心部のそれぞれにおける測位結果を図5の(a)と(b)に示す。測位に用いるGPS衛星情報のデータ数を1回のみ、1~10回目と変化させた時の結果を示している。異なる時刻のGPS衛星情報を用いるこ

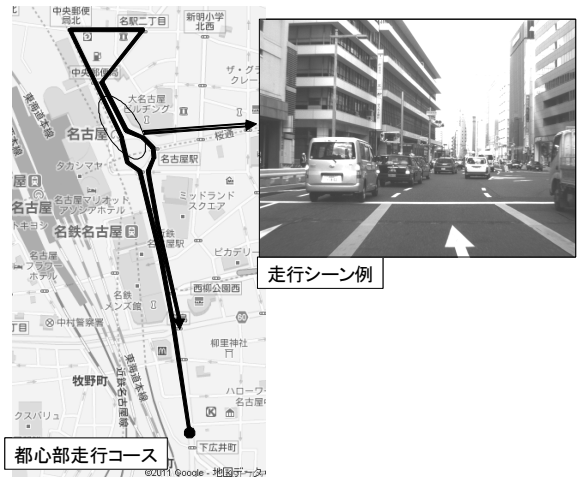


図 4: 都心部計測コース

表 1: 計測データ一覧

郊外 計測距離: 約 2.8 km			都心 計測距離: 約 2.5km		
1	2011/1/12	13:53-14:06	1	2008/7/7	10:32-10:44
2	2011/2/16	14:05-14:16	2	2008/7/7	12:12-12:25
3	2011/2/16	14:18-14:29	3	2008/7/7	13:49-14:03
4	2011/2/16	14:29-14:44	4	2008/7/7	11:20-11:36
5	2011/2/22	10:53-11:05	5	2008/7/7	13:00-13:18
6	2011/3/31	11:29-11:40	6	2008/7/7	14:37-14:54
7	2011/3/31	11:59-12:10	7	2008/9/16	15:08-15:26
8	2011/5/17	12:03-12:17	8	2008/9/16	15:33-15:38
9	2011/5/25	14:46-14:58	9	2008/9/16	19:22-19:37
10	2011/5/25	14:57-15:09	10	2008/9/16	19:44-19:50
			11	2008/11/5	10:45-11:34
			12	2008/11/5	13:17-13:58
			13	2010/7/8	9:23-9:34
			14	2010/7/8	9:57-10:03
			15	2010/7/8	10:24-10:36
			16	2010/7/8	11:49-11:56
			17	2011/1/12	11:22-11:35
			18	2011/1/12	11:39-11:46
			19	2011/1/12	11:55-12:04
			20	2011/1/12	12:05-12:15

とで、測位精度の向上が確認できる。

##### 3.2.2. 測位率

上記、測位結果に基づいて、測位率(測位ができた地点の場所率)を算出した結果を図6の(a)と(b)に示す。従来手法(各点の測位結果を平均化)を用いた場合の結果もあわせて示している。従来手法の場合、都心部では常時測位できない場所があるため、10回分のデータを用いても測位できない場所がある。提案手法の場合、都心部においても3回の走行で100%になり、繰り返し回数が少ない状態でも全マップの原点座標の測位が可能になる見通しがある。

##### 3.2.3. 測位精度

上記、測位結果に基づいて、測位誤差をリファレンスと比較して算出し、2D誤差の標準偏差 $\sigma$ を評価した結果を図7の(a)と(b)に示す。測位率の評価と同様に、各回の測位結果を平均化する従来手法を用いた場合の評価結果についてもあわせて示す。提案手法の方が従

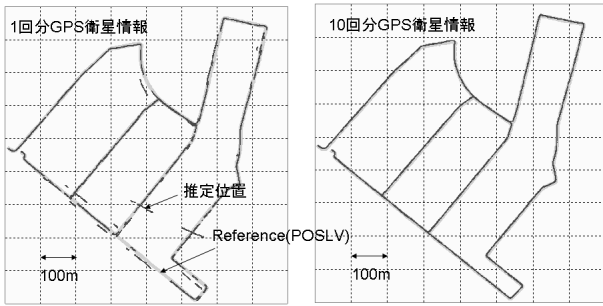


図 5(a):郊外路測位結果

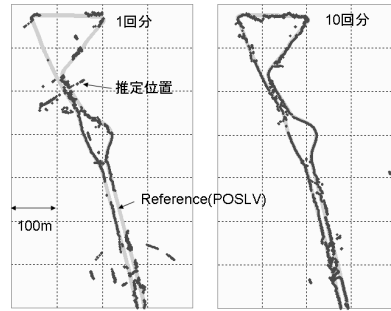


図 5(b):都心部測位結果

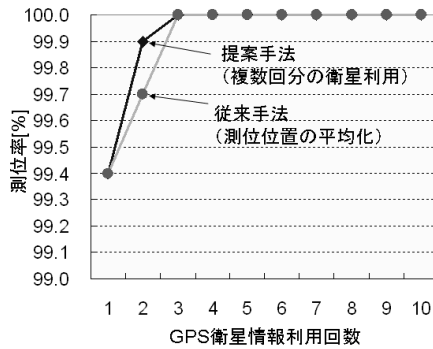


図 6(a):郊外路測位率向上効果

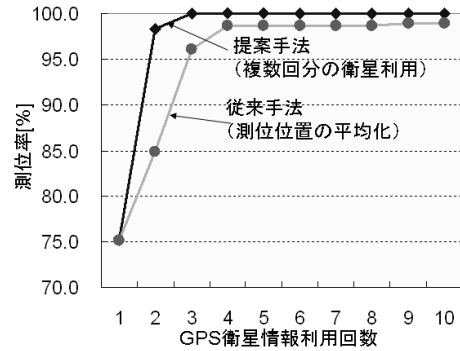


図 6(b):都心部測位率向上効果

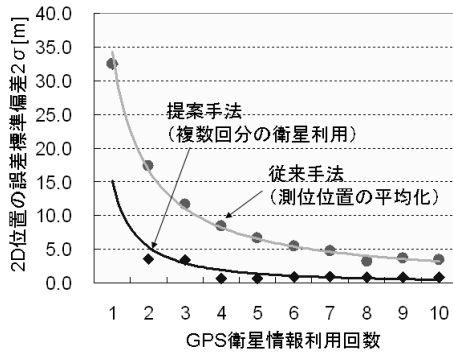


図 7(a):郊外路測位精度向上効果

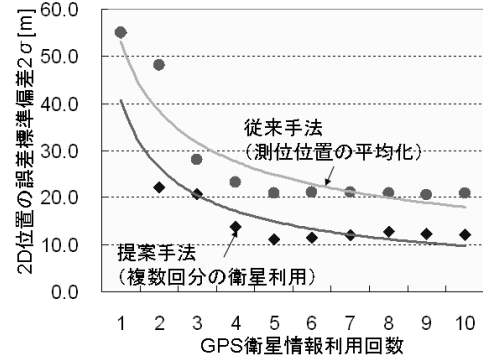


図 7(b):都心部測位精度向上効果

来手法に比較して誤差低減が早い段階で進むことがわかる。都心部での提案手法の結果については、20回まで衛星情報を増加させた結果を図8に示す。

郊外路については5~10回分の情報を用いることで2D位置誤差の $2\sigma$ は1mとなり、地図生成に必要な位置精度の達成の見込みを得た。一方、都心部については10回分を用いた場合でも $2\sigma$ は10mであり、20回分を用いた場合でも6m程度となった。1回分の情報で得られる精度に対する、精度向上割合は大きいですが、1mの位置精度は20回分では達成できていない。

## 4. 考察

### 4.1. 郊外路の測位傾向

郊外路の測位結果について、東西/南北方向の誤差平

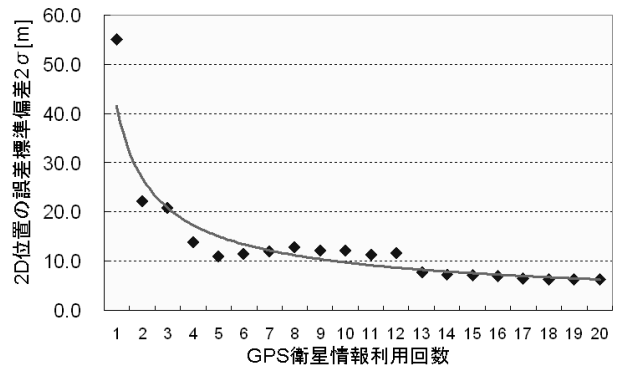


図 8:都心部測位精度向上効果 (20回まで)

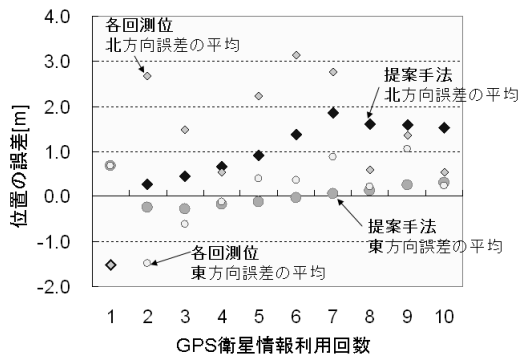


図 9(a): 郊外路推定位置誤差平均

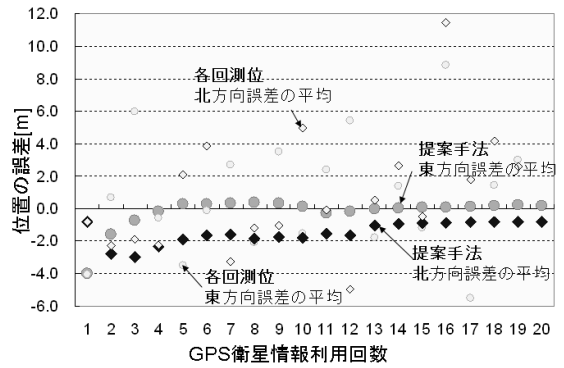


図 9(b): 都心部推定位置誤差平均

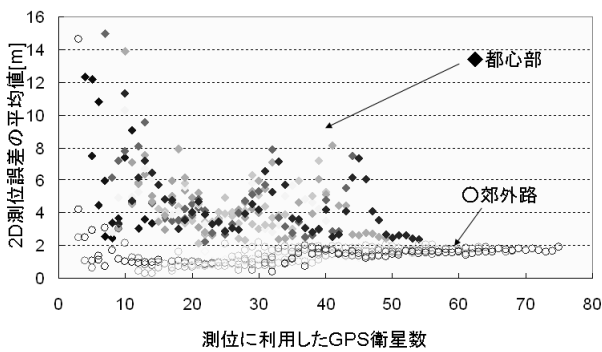


図 10: 衛星数と測位誤差の関係

均  $\mu$  の変化について評価した結果を図 9(a)に示す。2  $\sigma$  は 1m 未満であったが、北方向に 1.4m の誤差が残っていた。各データごとの誤差平均を見ると、1 回目を除いて常時北にオフセットがでている状況であることがわかる。必ずしもオフセット誤差がゼロになるわけではないため、別途対策が必要である。

#### 4.2. 都心部の測位傾向

都心部の測位結果についても同様に評価した結果を図 9(b)に示す。都心部ではオフセット誤差はあまり見られず、各回ごとの誤差平均は比較的均等にばらついていたためと考えられる。

#### 4.3. 衛星数と測位精度の関係

本研究は、複数回分の GPS 衛星情報を用いることで、仮想的に衛星数を増加させ、汎用 GPS を用いた高精度測位を狙うものである。10 回分のデータを用いた場合の衛星数と測位誤差の分布を図 10 に示す。

郊外路の場合、衛星数が増加するとその測位誤差は急激に減少していることがわかる。一方、都心部の場合、衛星数の増加は郊外路に比較して少なく、測位誤差についてもバラつきが大きい。また、郊外/都心部ともに、衛星数が 50 個以上になると測位誤差はあまり小さくならないことがわかる。このことから、衛星数 50 個以上になるとその地点における DOP は良好な状態が実現されているものと考えられる。今回の都心部

走行コースは東西方向の衛星が遮蔽され、DOP が十分に小さくならない状況であったと推察できる。

## 5. まとめ

提案している汎用 GPS と車載カメラを用いた高精度地図生成において、特に絶対位置の高精度化のため、複数回の走行によって得られる GPS 衛星情報を用いて擬似的に衛星数を増加させて高精度化する手法を提案してきた。本報では実データを用いてデータ回数の増加とその精度向上について検証し、実現可能性について検討した。郊外路については数回のデータを用いることで 1m の精度を達成できる見込みを得た。

## 文献

- [1] K.Ishikawa, et al., "A Mobile Mapping System for road data capture based on 3D road model.", Proc. IEEE Int. Conf. on Control Application, Germany, Oct. 2006.
- [2] 小島祥子他, "汎用 GPS と車載カメラ画像を用いた高精度地図生成手法の提案～基本概念と可能性検討～", IEICE, ITS 研究会, Mar. 2011.
- [3] 小島祥子他, "GPS 生データの蓄積による高精度自車位置推定の提案～移動体における基礎検討～", IEICE, ITS 研究会, Jul. 2010.
- [4] C.N.Talbot, "Centimeters in the Field, a Users Perspective of Real Time Kinematic Positioning in a Production Environment", Proc. IONGPS, pp.1049-1057, U.S.A., Sep. 1993.
- [5] Y.Kojima, et al., "Precise Localization using Tightly Coupled Integration based on Trajectory Estimated from GPS Doppler", Proc. 10<sup>th</sup> Int.Symp. on AVEC, UK, Aug. 2010.
- [6] 渋谷奈保, 高橋友和, 井手一郎, 村瀬洋, 小島祥子, 高橋新, "車載レーザスキャナによる距離データマップの構築と高精度自車位置推定", 電子情報通信学会論文誌, Vol.J92-D, No.2, pp215-225, 2009.
- [7] <http://www.novatel.com/assets/Documents/Papers/ProPakV3.pdf>
- [8] [http://www.applanix.com/media/downloads/products/specs/POSLV\\_Specifications.pdf](http://www.applanix.com/media/downloads/products/specs/POSLV_Specifications.pdf)
- [9] <http://www.ptgrey.com/products/flea2/flea2.pdf>